

Evaluación de concentraciones de ácido indolbutírico y tipo de estacas para la propagación asexual de ceiba

Evaluation of indolbutyric acid concentrations and type of cuttings for the asexual propagation of ceiba

Eddy S. Escobar-Fernández¹ , Edwin E. Vaidés-López^{1*}  y Ezequiel A. López-Bautista² 

1. Programa de Ingeniería Forestal, Universidad Rafael Landívar, Alta Verapaz, Guatemala

2. Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala

*Autor de correspondencia: estuardovaides@gmail.com

Recibido: 30 octubre de 2018

Aceptado: 2 de abril de 2019

Resumen

.....
Palabras clave:

reproducción
asexual; estacas;
ácido indolbutírico,
adventicias;
epicórmicas

El presente estudio se realizó en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala. El objetivo principal fue evaluar cuatro concentraciones (0, 1000, 2000 y 3000 ppm) de ácido indolbutírico (AIB) en dos tipos de estacas (adventicias y epicórmicas) para la reproducción asexual de ceiba. Se usó un diseño completamente al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones; cada unidad experimental estuvo compuesta por 10 estacas. Las estacas epicórmicas presentaron los mejores resultados en todas las variables medidas, con 79 % de estacas enraizadas; las concentraciones de AIB evaluadas tuvieron efecto significativo en las variables medidas cuando se evaluaron de manera individual como factor, hubo una interacción significativa de la concentración de AIB con el tipo de estaca, en todas las variables medidas. En las estacas epicórmicas la mejor concentración fue 2000 ppm con 95,0 % de estacas enraizadas y en las estacas adventicias fue 3000 ppm con 40,0 % de estacas enraizadas. En términos económicos, el mejor tratamiento fue el uso de rebrotes epicórmicos con 2000 ppm de AIB, que presentó 73,4 % de rentabilidad y una relación beneficio- costo de 1,73.

Abstract

.....
Key words:

asexual
reproduction;
cuttings;
indolebutyric acid;
adventitious;
epimorphic

This study was conducted in Alta Verapaz, Guatemala. The main objective was to evaluate four concentrations (0, 1000, 2000 and 3000 ppm) of indolbutyric acid (IBA) in two types of cuttings (adventitious and epichoric) for asexual reproduction of ceiba. A completely randomized design was used, with 8 treatments and 4 repetitions; each experimental unit was composed of 10 cuttings. The epichoric cuttings presented the best results in all the measured variables, with 79 % of rooted stakes; The evaluated IBA concentrations had a significant effect on the measured variables when they were individually evaluated as a factor, there was a significant interaction of the IBA concentration with the type of cuttings, in all the measured variables. In epicormic cuttings the best concentration was 2000 ppm with 95.0 % of rooted cuttings and in adventitious cuttings it was 3000 ppm with 40.0 % of rooted cuttings. In economic terms, the best treatment was the use of epicormic regrowths with 2000 ppm of IBA, which presented 73.4 % profitability and a cost-benefit ratio of 1.73.

Introducción

El manejo de bosque latifoliado en Guatemala es de mucha importancia debido a la diversidad de especies que en él se encuentran, y que ofrecen bienes y servicios que pueden ser una alternativa para mejorar la calidad de vida humana. Sin embargo, son pocas las especies que se aprovechan o que son manejadas con fines de producción. La ceiba (*Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britten & E. G. Baker) es una especie latifoliada recientemente incluida en los sistemas productivos de manejo forestal sostenible, debido que las industrias madereras la están demandando para diferentes usos y mercados, tanto nacionales como internacionales (Roldán, 2006).

La madera de ceiba se caracteriza por ser de baja densidad y resistencia mecánica, por lo cual se usa en construcción ligera, material de empaque, chapa, contra chapas (plywood), capas interiores de tableros laminados, acabados de interiores, cajas mortuorias, pulpa y papel (Roldán, 2006). Según el Sistema de Información Forestal de Guatemala -SIFGUA- (2016), las industrias que comercializan la ceiba en Guatemala registraron un ingreso total de 10,775,88 m³, en el período 2010 a agosto 2016; los productos con mayor volumen de ingreso fueron madera aserrada (4,518,58 m³), madera en troza (3,574,79 m³) y madera en bloque (1,460,16 m³).

Una de las dificultades que se presenta en el manejo sostenible de la ceiba es la recuperación posterior al aprovechamiento, debido a que esta especie no florece anualmente. Los árboles producen semillas cada 4 o más años, lo que complica o limita establecer los tratamientos silviculturales de establecimiento de la regeneración. Una alternativa es efectuar la recuperación de forma asexual, siempre y cuando se obtenga un mecanismo adecuado y rentable en el proceso de enraizamiento y brotación de estacas (Herrerías *et al.*, 2006).

En esta investigación se realizó un experimento bifactorial, utilizando como material experimental estacas epicórmicas y estacas adventicias, con un diseño estadístico completamente al azar. El factor A lo constituyeron los tipos de estacas y el factor B las concentraciones de ácido indolbutírico. Se evaluaron 8 tratamientos y 4 repeticiones para un total de 32 unidades experimentales. El ensayo se estableció en un invernadero de 20 m² (5 x 4 m). Dentro del invernadero se instalaron camas germinadoras, las cuales contenían las cajas donde se colocaron las estacas.

La presente investigación tuvo como propósito encontrar el método adecuado para la reproducción de la ceiba por medio de estacas, evaluando cuatro concentraciones de ácido indolbutírico y dos tipos de estaca según el tipo de yemas que las origina. Esta investigación permitirá encontrar una alternativa para iniciar procesos de mejora genética a partir de propagar clones de árboles con características sobresalientes al reproducirlos de forma asexual.

Materiales y métodos

Localización del área experimental

El ensayo experimental se realizó en el municipio de Fray Bartolomé de las Casas, localizado al norte del departamento de Alta Verapaz en Guatemala, en las coordenadas geográficas 15°50' 44" N y 89°51' 57" O, a una altitud de 146 m sobre el nivel del mar (Sinaj, 2007).

El clima predominante en la zona de estudio es cálido húmedo, aunque en los meses de diciembre y enero existe una pequeña variante a templado con tendencia a frío. Se encuentran bien definidas dos estaciones: época seca, en los meses de marzo, abril y mayo y la época lluviosa el resto del año. La temperatura promedio registrada en el municipio es de 25 °C, con una mínima extrema de 14 °C y máxima extrema de 38 °C. La precipitación pluvial dura de 8 a 9 meses, con valores entre 2,000 a 3,000 mm anuales; los vientos corren de noreste a sur (Sinaj, 2007).

Material experimental

Se utilizaron estacas de ceiba (*Ceiba aesculifolia*) obtenidas de dos tipos de rebrotes según la yema que los origina, tomando en cuenta que las plantas productoras tenían características deseables con relación al estado fitosanitario, crecimiento y desarrollo. Los dos tipos de estacas utilizadas provienen de rebrotes adventicios u oportunistas y de rebrotes epicórmicos o proventicios.

Los rebrotes adventicios son aquellos que se originan de yemas adventicias, desnudas o accesorias es decir sobre tejidos diferenciados, sobre la zona meristemática del cambium, estos se colectan por lo general de la copa de los árboles (Vita, 1996). Los rebrotes epicórmicos se originan alrededor de la superficie perimetral del tocón, su origen es endógeno y están conectadas con el xilema primario (Estévez, 1994).

Factores estudiados

Se estableció un experimento factorial, con dos factores (2 x 4), el tipo de estaca (factor A), con dos niveles (estacas de brotes adventicios y estacas de brotes epicórmicos) y la concentración de ácido 3-indolbutírico (AIB) al 98 % (factor B), con cuatro niveles (0, 1,000, 2,000 y 3,000 ppm), en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones y 10 estacas por unidad experimental. Según López y González (2014), en este tipo de diseño están incluidos los principios de repetición y de aleatorización, o sea que, es utilizado cuando no hay necesidad del control local, debido a que el ambiente experimental y las condiciones de manejo son homogéneos y los tratamientos se asignan a las unidades experimentales mediante una aleatorización completa, sin ninguna restricción. Dentro del invernadero, se distribuyeron los tratamientos de forma aleatoria (tratamientos y repeticiones), distribuidos en ocho cajas de madera, en cada una de las cajas de madera se establecieron cuatro unidades experimentales.

Las auxinas son los reguladores de crecimiento más utilizadas para estimular el enraizamiento en las plantas (Ovalle, 2010). El AIB es probablemente el mejor material para estos usos, debido a que no es tóxico para las plantas en una amplia gama de concentraciones y es efectivo para la estimulación del enraizamiento en un gran número de especies leñosas (García, 2007).

Modelo estadístico

El modelo estadístico utilizado en el análisis de los datos fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$i = 1, 2, \dots, a$ $j = 1, 2, \dots, b$ $k = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

Donde la variable respuesta (Y_{ijk}) está en función de la media general (μ), del efecto del i -ésimo nivel del factor A (α_i), del efecto del j -ésimo nivel del factor B (β_j), la interacción entre los niveles de los factores A y B ($\alpha\beta_{ij}$) y del error experimental asociado a la ijk -ésima unidad experimental (ϵ_{ijk}).

Selección de las plantas productoras de las estacas

Las plantas productoras fueron seleccionadas de una plantación de *Ceiba aesculifolia*, la cual contaba con plantas representativas de la zona de vida y que llenaban los requisitos de calidad, sanidad y buena forma. Con el fin de garantizar la sanidad de las estacas y la calidad de las plantas a producir, se seleccionaron un total de 30 plantas

que cumplieran con dichos requisitos y se les realizó la extracción de ambos tipos de estacas.

Para obtener los rebrotes adventicios solo se seleccionaron los que ya estaban formados y que cumplieran los requisitos de una buena estaca. Sin embargo, para las estacas o rebrotes epicórmicos fue necesario preparar cada planta productora dos meses antes para que se formaran los rebrotes para su posterior selección. Las plantas seleccionadas como madres fueron escogidas a partir de individuos de Bosque Natural de la zona de estudio que presentaron buenas características de forma, crecimiento y con muy buena sanidad.

Corte del material vegetativo

Uno de los factores que se evaluaron fue el tipo de estacas, las cuales se obtuvieron de dos tipos de yemas, rebrotes adventicios u oportunistas y rebrotes epicórmicos o proventicios. El tamaño de cada estaca fue de 15 cm de largo y aproximadamente 1 cm de diámetro en la parte basal. El corte basal en la estaca se hizo con una inclinación de 45°. La figura 1 muestra el tamaño y la forma que tenían las estacas, por lo que para las 32 unidades experimentales se cortaron un total de 320 estacas, 160 de cada tipo.

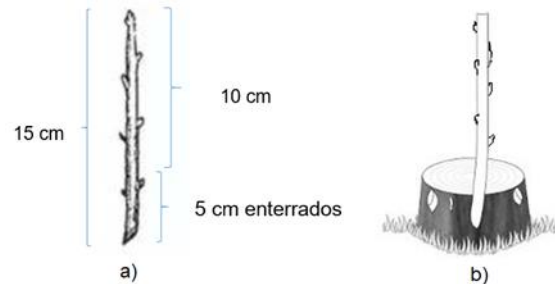


Figura 1. Tamaño de estacas utilizadas, de rebrote adventicio (a) y de rebrote epicórmico (b).

Desinfección de las estacas

Una vez cortadas las estacas y antes de aplicarles el AIB, éstas fueron sumergidas en una solución con Kilol (5 cc/L) durante 15 segundos, con el fin de realizar su desinfección. Este tratamiento se efectuó en base en la recomendación de Badilla y Murillo (2005), quienes indican que las estacas pueden permanecer desde 2 hasta 30 minutos en esta solución.

Preparación y aplicación del AIB

La cantidad de ácido 3-indolbutírico 98 % requerida para cada tratamiento se disolvió en alcohol isopropílico al 75 %, utilizando 0,5 L de alcohol para cada dosis. Las estacas

se clasificaron de acuerdo a cada tipo y dosis a aplicar de la hormona para formar los ocho tratamientos con sus respectivas repeticiones, luego se aplicó por medio de inmersión rápida (durante 5 segundos) en aproximadamente 1 cm de la base de la estaca, de acuerdo a la dosis asignada.

Siembra e hidratación del experimento

Una vez impregnadas las estacas se esperó 3 segundos aproximadamente para que la solución de AIB se adhiriera bien a las estacas y luego se colocaron en el sustrato de enraizado (sustrato natural de tierra y piedra pómez). Las estacas se colocaron en dos hileras a una distancia de 8 cm entre estacas y 10 cm entre hileras, enterrándolas 5 cm de su base.

Para obtener un buen riego dentro del invernadero se estableció un sistema de riego con cuatro nebulizadores para que se tuvieran bien hidratadas a las estacas durante el tiempo del enraizamiento. La frecuencia del riego varió en función de la humedad relativa (que tan soleados o lluviosos estaban los días durante el experimento). Básicamente cuando los días eran soleados se regó cuatro veces al día, dos por la mañana y dos por la tarde, con una duración de 15 minutos por riego, y cuando los días eran lluviosos se regó dos veces al día, una por la mañana y una por la tarde, con la misma duración.

Variables de respuesta

A los 30 y 40 días de establecido el ensayo se contó el número de estacas con brotes en cada unidad experimental y fue calculado el porcentaje de estacas con rebrote. Además, a los 50 días se evaluó la calidad del rebrote. Para ello se contó el número de brotes en las estacas en toda la unidad experimental y la cantidad de hojas de los rebrotes por estaca, considerando que mientras más brotes y hojas tenían la estaca, sería de mejor calidad. Al finalizar el experimento, a los 70 días, se contó el número de estacas que formaron raíces en cada unidad experimental; para ello fue necesario extraer las

estacas del sustrato, y posteriormente calculado el porcentaje de enraizado. También se contó el número de raíces por cada unidad experimental y se calculó el promedio de raíces por estaca. En las estacas enraizadas, las raíces se cortaron con tijeras y se pesaron en una balanza analítica para obtener su peso húmedo.

Análisis de la información generada

De acuerdo con López y González (2014), uno de los métodos de análisis de datos provenientes de experimentos es el del análisis de varianza (ANOVA), el cual es un procedimiento aritmético y estadístico que consiste en descomponer la variación total en fuentes o causas de variación. En caso de que el ANOVA detecte diferencias significativas, es necesario aplicar pruebas de comparación múltiple de medias, siendo la de Tukey, una de las más utilizadas (Barillas, 2015). Sin embargo, esta prueba presenta el inconveniente de presentar traslapes en los grupos, por lo que actualmente es de uso más frecuente la prueba de Scott-Knott, que resuelve este inconveniente (figura 2).

A las lecturas se les realizó un análisis de varianza, apoyados en el paquete estadístico para el análisis de datos InfoStat v.2018® y al haber encontrado diferencias significativas para el factor tipo de estacas y en la interacción entre el factor tipo de estacas más el factor concentración de IBA, se efectuaron pruebas de comparación múltiple de medias usando el criterio de Scott-Knott y un nivel de 5 % de significancia. Adicionalmente se evaluaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilks y de homogeneidad de varianzas e independencia de los residuos, para cada variable, encontrando que no es necesario efectuar algún tipo de transformación para los datos.

Resultados y discusión

El resumen de los análisis de varianza realizados se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de la estadística F, significancia obtenida en los análisis de varianza y coeficiente de variación (en porcentaje), por variable, factores evaluados e interacción. *** = valor de $p < 0,0001$, ** = valor de $p < 0,05$ * = valor de $p < 0,10$.

Variables	Fuentes de variación			CV (%)
	Tipo de estaca	Concentración de AIB	Interacción	
Porcentaje de enraizado	372,25***	34,67***	2,93*	15,27
Número promedio raíces por estaca	574,09***	19,35***	1,91*	14,45
Porcentaje de estacas con rebrote	122,73***	2,68*	10,18***	16,13
Cantidad de rebrotes	80,55***	5,43**	6,22**	19,68



Figura 2. a) Estacas plantadas, b) Estacas en proceso de rebrotes, c) Estacas brotadas, d) Estacas epicórmicas enraizadas, e) Estaca epicórmica enraizada, f) Peso en gramos de raíces.

En cuanto a los supuestos del modelo estadístico-matemático, por medio de la prueba de Shapiro-Wilks se constató que en todas las variables de respuesta, los residuos siguen una distribución normal (valor de $p > 0,05$), y por medio del gráfico de dispersión de los residuos estudentizados contra valores predichos, se observó que tienen un comportamiento aleatorio o sin tendencia, por lo que se cumplen los supuestos de homogeneidad de las varianzas y la independencia de los residuos, no siendo necesario realizar alguna transformación de los datos.

A continuación, la discusión de los resultados por variable:

Porcentaje de enraizado

Esta variable fue de mucha importancia en la investigación ya que de los resultados que presentó dependieron las otras dos variables evaluadas, número promedio de raíces por estacas y el peso de raíces. Las estacas que presentaron mejores resultados para la variable número de estacas con raíces al finalizar el experimento fueron las estacas epicórmicas, las cuales presentaron 79 % de enraizado.

Por otra parte, las estacas de tipo adventicias presentaron estacas con emisión de raíces, pero en menor porcentaje (25 %). Estas diferencias pudieron deberse a las características fisiológicas que cada tipo de estacas presenta, ya que las estacas adventicias se originan a partir del parénquima floemático o rayos iniciales del cambium vascular (Vita, 1996) mientras que las estacas epicórmicas son de origen endógeno y están conectadas con el xilema primario (Estévez, 1994) por lo tanto se atribuye a que las características fisiológicas de cada tipo de estacas influyeron en las diferencias del número de estacas enraizadas.

Para evaluar si las diferencias existentes en los dos tipos de estacas enraizadas, las concentraciones de IBA y la

interacción eran estadísticamente significativas, los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza, que se muestra en la tabla 1, observando que los factores principales presentan diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) y la interacción presentó diferencias significativas al 10 %.

Debido a que se presentaron diferencias altamente significativas entre los dos tipos de estacas, se procedió a realizar una prueba múltiple de medias de Scott-Knott para conocer qué tipo de estacas presentó mejores resultados con relación a la cantidad de estacas enraizadas a los 70 días después de la siembra.

Según la prueba de Scott-Knott las mejores estacas para la emisión de raíces fueron las epicórmicas, las cuales presentaron una media de 7,94 estacas que emitieron raíces, equivalente a un 79,40 % de estacas enraizadas comparadas con las estacas adventicias las cuales solo presentaron una media de 2,5 estacas enraizadas, equivalente a un 25 % de estacas enraizadas de este tipo.

Para la interacción, se notan los dos grupos de estacas diferenciados y con respecto a las concentraciones de IBA, hubo diferencias con respecto al testigo absoluto (tabla 2).

Tabla 2. Prueba de Scott-Knott para la variable porcentaje de enraizado a los 70 días después de la siembra, para la interacción entre tipo de estaca y concentración de IBA, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz.

Estaca	IBA	Media	n	Grupo
Epicórmicos	2000	95	4	A
Epicórmicos	3000	85	4	A
Epicórmicos	1000	83	4	A
Epicórmicos	0	55	4	B
Adventicias	3000	40	4	C
Adventicias	1000	33	4	C
Adventicias	2000	28	4	C
Adventicias	0	0	4	D

Número de raíces promedio por estaca enraizada

Esta variable respuesta al igual que el porcentaje de enraizado, fue evaluada al finalizar el experimento. De acuerdo con la tabla 1, los factores principales presentan diferencias altamente significativas ($p < 0,001$), y la interacción presentó diferencias significativas.

Las estacas que presentaron mejores resultados para la variable número promedio de raíces por tipo de estacas al finalizar el experimento fueron las estacas epicórmicas, las cuales presentaron un promedio de 18,46 raíces por

estaca. Para el caso de las estacas adventicias las cantidades de raíces disminuyeron, debido a que la cantidad de estacas que emitieron raíces para este tipo también fueron menores, produciendo un promedio de 4,44 raíces por estaca. Existiendo una relación directamente proporcional entre ambas variables ya que, al haber más número de estacas enraizadas, el número de raíces también fue mayor, las condiciones controladas dentro del invernadero favorecieron la formación de raíces en gran número, pero solo en las estacas epicórmicas. Al ser significativa la interacción, la prueba de Scott-Knott fue aplicada únicamente a esta fuente de variación, y en la tabla 3 se presenta el resumen de la prueba. Para la interacción, se notan los dos grupos de estacas diferenciados y con respecto a las concentraciones de IBA, hubo diferencias con respecto al testigo absoluto, en ambos tipos de estaca.

Tabla 3. Prueba de Scott-Knott para la variable número de raíces promedio por estaca enraizada, para la interacción entre tipo de estaca y concentración de IBA, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz.

Estaca	IBA	Media	n	Grupo
Epicórmicos	3000	20,50	4	A
Epicórmicos	1000	19,71	4	A
Epicórmicos	2000	18,43	4	A
Epicórmicos	0	15,19	4	B
Adventicias	2000	6,65	4	C
Adventicias	1000	5,83	4	C
Adventicias	3000	5,29	4	C
Adventicias	0	0,00	4	D

Peso de raíces

Esta variable se cuantificó a los 70 días de iniciar el experimento y al finalizar el mismo al igual que las otras dos anteriores, para medir esta variable las raíces se cortaron en su totalidad y se pesaron con una balanza analítica. Los resultados de esta variable se omitieron debido a que mientras más estacas enraizadas se obtuvieron más cantidad de raíces se presentaron y por consiguiente el peso también fue mayor de manera secuencial, de tal manera que las mejores estacas para esta variable fueron también las epicórmicas.

Porcentaje de estacas con rebrotes

Esta variable fue evaluada a los 30 y 40 días después de la siembra de las estacas, las cuales se cuantificaron en una escala de 1 a 10 por cada unidad experimental. Las estacas epicórmicas fueron las que presentaron mejores resultados de porcentaje de estacas con rebrotes (78 %).

En las estacas de tipo adventicias, también hubo estacas que presentaron rebrotes, pero en porcentajes menores (41 % en promedio). Estas diferencias pudieron deberse a las características fisiológicas que cada tipo de estacas presenta, además de las reservas de nutrientes presentes y de la capacidad que cada tipo presentó para la emisión de rebrotes al proporcionarles las condiciones homogéneas y necesarias dentro del invernadero.

Para evaluar si las diferencias existentes en los dos tipos de estacas, las concentraciones y la interacción eran estadísticamente significativas, los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza. De acuerdo con la tabla 1 solamente el tipo de estaca y la interacción presentan diferencias altamente significativas ($p < 0,001$). La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó que los residuos presentaban una distribución normal ($p = 0,0548$) y el gráfico de valores predichos contra residuos estudentizados mostró una distribución aleatoria de los residuos estudentizados, satisfaciendo con ello los supuestos de homogeneidad de varianzas e independencia de los residuos, no siendo necesario realizar alguna transformación de los datos.

Debido a que se presentaron diferencias altamente significativas entre los dos tipos de estacas se procedió a realizar una prueba de Scott-Knott para las variables números de estacas con rebrotes a los 30 días después de la siembra (tabla 4).

Tabla 4. Prueba de Scott-Knott para las variables porcentaje estacas con rebrotes por cada tipo de estaca a los 30 días después de la siembra, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz.

Tipo de Estacas	Medias	n	Grupo
Epicórmicas	78,13	16	A
Adventicias	40,63	16	B

Para establecer si los porcentajes de estacas con rebrotes aumentaban o disminuían en uno o los dos tipos, se realizó otra lectura a los 40 días después de la siembra, en donde se determinó que las diferencias no fueron significativas en una lectura con relación a la otra. Respecto a la interacción, en la tabla 5 se presenta el resumen de la prueba de Scott-Knott. Puede notarse que solo en el caso de las estacas de tipo epicórmicas, las concentraciones de IBA fueron superiores al testigo, caso contrario en las estacas Adventicias, que no hubo efecto de las concentraciones de IBA.

Tabla 5. Prueba de Scott-Knott para la variable porcentaje de estacas con rebrotes, para la interacción entre tipo de estaca y

concentración de IBA, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz.

Estaca	IBA	Media	n	Grupo
Epicórmicos	2000	90,0	4	A
Epicórmicos	3000	87,5	4	A
Epicórmicos	1000	80,0	4	A
Epicórmicos	0	55,0	4	B
Adventicias	0	47,5	4	B
Adventicias	1000	42,5	4	B
Adventicias	3000	40,0	4	B
Adventicias	2000	32,5	4	B

Calidad del rebrote

Esta variable fue evaluada a los 50 días después de la siembra de las estacas, como se mencionó en la metodología, esta variable fue medida por la cantidad de brotes y por la cantidad de hojas que tenían las estacas en el momento de la medición, aduciendo que mientras más brotes y más hojas presentaban serían de mejor calidad los rebrotes, ya que tendrían mejores reservas para la emisión de nuevos brotes y nuevas hojas.

Las estacas que presentaron mejores resultados para esta variable, de la misma manera que en las variables anteriores fueron las estacas epicórmicas, las cuales presentaron un total de 187 rebrotes contra 98 rebrotes que presentaron las estacas adventicias, es importante mencionar que en algunas estacas solo se dio la formación de un rebrote mientras que en otras se formaron dos o más rebrotes por estaca.

De acuerdo con la tabla 1, existen diferencias altamente significativas para los dos tipos de estacas con relación a la cantidad de rebrotes a los 50 días después de la siembra. Además, las concentraciones de IBA y la interacción de éstas con los tipos de estacas son significativas. Debido a que se presentaron diferencias altamente significativas entre los factores principales y la interacción, se procedió a realizar la prueba múltiple de medias de Scott-Knott para esta última. En la tabla 6 se presenta un resumen de esta prueba con un nivel de significancia del 5 % para la variable evaluada.

Puede notarse las estacas de tipo epicórmicos presentan los mejores resultados (promedio de 11,69 rebrotes), y las concentraciones de IBA fueron superiores al testigo, caso contrario en las estacas Adventicias, que no hubo efecto de las concentraciones de IBA. Por lo tanto, la calidad del rebrote determinada por la cantidad de rebrotes fue mejor en las estacas epicórmicas que en las estacas adventicias, partiendo del principio que mientras más

rebotes se presentaban serían de mejor calidad los mismos.

Tabla 6. Prueba de Scott-Knott para la variable cantidad de rebrotes a los 50 días después de la siembra, para la interacción entre tipo de estaca y concentración de IBA, Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz.

Estaca	IBA	Media	n	Grupo
Epicórmicos	2000	14,25	4	A
Epicórmicos	3000	13,25	4	A
Epicórmicos	1000	11,75	4	A
Epicórmicos	0	7,50	4	B
Adventicias	3000	6,50	4	B
Adventicias	0	6,25	4	B
Adventicias	1000	6,00	4	B
Adventicias	2000	5,75	4	B

Para evaluar la calidad del rebrote, también se midió la cantidad de hojas emitidas por cada tipo de estacas, en donde se pudo observar que la calidad de los rebrotes no fue afectada por la cantidad de hojas ya que de igual forma las mejores estacas con relación a la calidad del rebrote determinada por la cantidad de hojas fueron también las epicórmicas, por tal razón los resultados de la cantidad de hojas se omitieron.

Conclusiones

Los dos tipos de estacas evaluados para la reproducción asexual de la ceiba (*Ceiba aesculifoli*) presentaron un efecto diferenciado en cuanto al porcentaje de enraizado y número de raíces promedio por estaca enraizada, siendo las de tipo epicórmico las que mostraron los valores más altos (79 %), debido a su origen endógeno y conexión con el xilema primario favorecieron estos resultados, y al aplicar AIB en cualquiera de sus concentraciones (3000, 2000 o 1000), aumentó el porcentaje de enraizamiento con relación al testigo absoluto (sin aplicación), en ambos tipos de estacas por lo que el uso de esta auxina aceleró la formación y crecimiento inicial de las raíces adventicias en las estacas.

En lo referente al porcentaje de estacas con rebrote y cantidad de rebrotes a los 50 días, nuevamente fue observado el efecto diferenciado de los tipos de estacas, siendo las de tipo epicórmico las que presentaron los valores más altos (78 % y 12 rebrotes por estaca). Y en cuanto al efecto de las concentraciones de AIB, éste mostró resultados favorables únicamente en las estacas de tipo epicórmico, superando al testigo absoluto.

En términos económicos, el mejor tratamiento fue el uso de rebrotes epicórmicos con 2000 ppm de AIB, que presentó 73,4 % de rentabilidad y una relación beneficio-coste de 1,73.

Recomendaciones

Para la reproducción asexual de esta especie, es importante realizar una buena selección de los árboles padres o los que aportan las estacas, con el fin de que las nuevas plantas tengan estas buenas características.

Con estos resultados se recomienda el uso de estacas provenientes de brotes epicórmicos, que pueden obtenerse de tocones cortados o de anillamientos en la base del árbol, con el fin de generar plantas madre a partir de estos y luego seguir evaluando la producción de estaquillas a partir de estas plantas madre.

Referencias

Badilla, Y. y Murillo, O. 2005. Enraizamiento de estacas de especies forestales. *Kurú: Revista Forestal* 2 (6): 1-6.

Barillas, L. 2015. Enraizamiento de esquejes de clavel chino (*Dianthus Chinensis*, Caryophyllaceae) en sustratos de diferentes proporciones de turba y arena volcánica en Jalapa. Tesis de pregrado. Universidad Rafael Landívar. Guatemala, Guatemala.

Estévez, J. 1994. Caracterización del rebrote en cepas de Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) fundo El Toyo Región Metropolitana. Memoria de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

García, I. 2007. Evaluación de dos sustratos y seis concentraciones de ácido indolbutírico para el enraizamiento de acodos aéreos en dracaena (*Dracaena marginata* Lam.: Agavaceae) Finca La Esperanza, Coatepeque, Quetzaltenango. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.

Herrerías, D., Quesada, M., Stoner, K. y Lobo, J. 2006. Effects of Forest Fragmentation on Phenological Patterns

and Reproductive Success of the Tropical Dry Forest Tree *Ceiba aesculifolia*. *Conservation Biology* 20 (4): 1111-1120. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00370.x>.

López, E. y González B. 2014. Diseño y análisis de experimentos (en línea). Guatemala. http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/2/2b/Dise%C3%B1o_y_An%C3%A1lisis_de_Experimentos_2014.pdf. Consultado: 10 de septiembre de 2018.

Ovalle, J. 2010. Evaluación de concentraciones de auxinas para la propagación vegetativa comercial de 4 especies forestales: Melina (*Gmelina arborea*), Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), Pino (*Pinus patula*) y Pinabete (*Abies guatemalensis*) Pilonos de Antigua, Antigua Guatemala. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.

Roldán, I. 2006. Frondoso Árbol Sagrado. Prensa Libre (Guatemala). <http://servicios.prensallibre.com/pl/domingo/archivo/revistad/2006/febrero06/050206/dhistoria.shtml>. Consultado: 08 de agosto de 2016.

Sinaj, J. 2007. Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión, municipio de Fray Bartolomé de las Casas, departamento de Alta Verapaz. Ejercicio Profesional Supervisado. Guatemala, Guatemala. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.

Sistema de Información Forestal de Guatemala (SIFGUA). 2016. Comercio Interno de productos forestales, Reporte de movimientos especie *Ceiba aesculifolia*. <http://www.sifgua.org.gt/ComercioInterno.aspx>. Consultado: 23 de agosto de 2016.

Vita, A. 1996. Los tratamientos silviculturales. The floral nectaries of *Malvaceae sensu lato-a conspectus*. Tesis de pregrado. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Citar como:

Escobar-Fernández, E.S., Vaidés-López E.E. y López-Bautista, E.A. 2019. Evaluación de concentraciones de ácido indolbutírico y tipo de estacas para la propagación asexual de ceiba. *Intropica* 14(2): En prensa. DOI: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.3211>.